

Относительная погрешность γ измерения сопротивления ДТ Z_g устройством защиты при избранном соотношении X_C и X_L имеет вид:

$$\gamma = \frac{Z_g - Z_U}{Z_g} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где Z_U – значение сопротивления ДТ, измеренное через силовые жилы $Z_U = X_C(X_L + Z_G)/(X_L + Z_G + X_C)$.

Приняв сопротивление $Z_g = \sqrt{X_L X_C}$ для обеспечения максимальной чувствительности блока УЗ, найдем

$$\gamma = \left(1 - \frac{1 + \sqrt{Z_L / Z_C}}{1 + Z_L / Z_C + \sqrt{Z_L / Z_C}} \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

что при $Z_L / Z_C = 0,01$ составляет $\gamma = -0,901\%$.

Таким образом, предложенный способ дистанционного контроля режима асинхронного двигателя позволяет определить состояние датчика температуры с погрешностью не более 1% при удалении от двигателя до 1000 м.

1.Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т.1 / Под общ. ред. И.П.Копылова, Б.К.Клюкова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

2.Ишкин В.Х., Шкарип Ю.П. Расчет параметров высокочастотных трактов по линиям электропередач / Под ред. А.И.Перова. – М.: МЭИ, 1999. – 122 с.

3.Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. – 228 с.

4.Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.

Получено 19.01.2010

УДК 534.833.53

В.Е.АБРАКІТОВ, О.Ю.НІКІТЧЕНКО, кандидати техн. наук, І.О.ФАРИНА

Харківська національна академія міського господарства

ВРАХУВАННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЇХ ЗАСТОСУВАННІ В ЯКОСТІ ЗВУКОПОГЛИНАЧІВ

Наводиться докладний і розширений опис механізму дії пористих звукопоглиначів відповідно до наших досліджень.

Приводится подробное и расширенное описание механизма действия пористых звукопоглотителей в соответствии с нашими исследованиями.

Below happens to detailed and extended description of the mechanism of the action sound absorbers with time in accordance with our studies.

Ключові слова: вакуум, мікроструктура, пористий звукопоглинач, зниження шуму.

Відомі різні види звукопоглиначів у вигляді плит або формованих елементів із скляних, органічних чи мінеральних волокон, а також з пінопласту з відкритою пористістю (найчастіше пінополіуретан) [1]. Всі вони мають наскрізну пористість з розмірами пор менше 1 мм. У середині пор може поширюватися звук, що загасає внаслідок втрат. Всі структурні величини (діаметр пор, діаметр волокна) дуже малі в порівнянні з довжиною хвилі, що дозволяє розглядати ці матеріали як однорідне середовище з внутрішніми втратами.

Передача звукової енергії при цьому здійснюється за рахунок зіткнень сусідніх часток при їх коливаннях. Звукові хвилі здатні поширюватися в середовищі, що володіє властивістю пружності, тобто в будь-якому матеріалі.

В роботах [2-4] наводиться спроба описати механізм дії пористих звукопоглиначів. В [5] вказується, що при проходженні звукової хвилі через матеріал з крупними порами відбувається її багаторазове переломлення на границі розподілу середовищ “повітря – пористий матеріал”, що збільшує його звукоізолюючі властивості.

Єдиною перешкодою на шляху звуку може бути середовище, позбавлене пружності, тобто вакуум. Згідно з [6], вакуум являє собою стан укладеного в судину газу з тиском значно нижче атмосферного, і поводження його визначається співвідношенням між довжиною вільного пробігу молекул l (середньою відстанню, що проходить частка між двома її послідовними зіткненнями з іншими частками) і розміром d , характерним для даної вакуумної судини чи процесу. Для забезпечення коефіцієнта пропущення звуку $\tau = 0$ необхідна наявність середнього вакууму, коли виконується умова $l = d$ (тиск порядку $10^2 > P > 10^{-1}$ Па), при якому припиняється пряма передача енергії звукових коливань між стінками судини. У роботі [7] наводиться формула для розрахунку довжини вільного пробігу молекул l .

В роботі [8] зазначено, якщо газ настільки розріджений, що виконується умова $d \leq l$, то “молекулы непосредственно переносят импульс от одной пластинки к другой, ни с чем не сталкиваясь по дороге, и переносимый импульс пропорционален числу молекул, способных его переносить, и обращается в нуль при полном вакууме”. Також у [8] наведено: “...состояние заключенного в сосуд газа (разреженный или плотный) – свойство скорее сосуда, чем газа. При нормальной атмосферной плотности свободный пробег $l \sim 2 \cdot 10^{-5}$ см. Следовательно, когда воздух обтекает самолет, он должен считаться плотным. Но если он течет в тонком капилляре радиуса $< 2 \cdot 10^{-5}$ см или в очень мелких порах специального фильтрующего вещества, тот же воздух ведет себя как разреженный...”. Дрібні пори і капіляри мають $\tau = 0$, тобто

наділені звукоізолюючою здатністю $R = +\infty$ дБ. Це обумовлено особливостями розріджених газів на відміну від щільних.

Відомі так звані пористі й штучні (з пористих звуковбирних матеріалів) звукопоглиначі, причому поглинання звуку такими матеріалами в роботі [9] пояснюється тим, що воно “происходит в результате перехода звуковой энергии в тепло вследствие преодоления внутреннего трения в порах”.

Високі звукоізолюючі (звукопоглинання забезпечує і звукоізоляцію) властивості звуковбирних матеріалів з дрібними порами пояснюються нами як результат наявності в них вакуумних порожнин, тобто пір, наповнених повітрям при тиску рівному атмосферному, як, проте, через свої малі розміри поведуться як мікроскопічні вакуумні звукоізолюючі пристрої за умови $l \geq d$, де d – діаметр пори. Звуковбирні властивості пористих матеріалів пояснюються тим, що звукова енергія, потрапляючи в них, незначно відбивається від границі розподілу середовищ “повітря – пористий матеріал” і проходить усередину, випробуючи при розповсюдженні по твердому матеріалу оболонку пор (волокон матеріалу) звукопоглинання. Всередині самих пор переноситися вона не може, отже, вона відбивається від їхніх стінок, причому роздрібнюється в різноманітних напрямках. Ці відбиття багаторазові, тому що кількість пор дуже велика. Таким чином, значно збільшується відстань, яку проходить хвиля всередині шару пористого і волокнистого матеріалу. Однак на відміну від відомих панелей з вакуумними порожнинами, що забезпечують звукоізоляцію, що мають макроскопічні (свідомо порівнянні з довжиною звукової хвилі чутного діапазону) розміри, “екран” мікропор не є суцільним і, зрештою, звукова хвиля “обтікає” їх завдяки дифракції і виходить назовні значно ослабленою.

На рис.1, а, б, в схематично зображено проходження звукової хвилі через шари різних матеріалів, причому шлях проходження звукової хвилі умовно представлений у виді променів, що показують напрямки її поширення. Форми пор виконано в довільному масштабі лінійних розмірів.

Прямолінійність поширення падаючого променя I при вході усередину шару в будь-якому випадку порушується внаслідок характерних хвильових явищ (в основному переломлення) всередині шару матеріалу – промінь I^{III}. При проходженні звукової хвилі через матеріал її енергія частково відбивається – промінь I^{II}, частково пропускається всередину матеріалу – промінь I^{III}, де випробує поглинання, причому величина коефіцієнта поглинання α залежить не тільки від фізико-хімічних властивостей матеріалу, але і від довжини шляху, що проходить звукова хвиля усередині шару речовини. Неважко бачи-

ти, що при рівній товщині шару шлях проходження звукової хвилі через нього буде більше для матеріалу з великими порами, ніж для матеріалу, взагалі позбавленого пор, наприклад, металу (рис.1, *а*). Це пояснюється тим, що звукова енергія здатна переноситися через великі ($l < d$) пори, але при такому переносі звукова хвиля багаторазово переломлюється в кожній порі на границі розподілу середовищ. Отже, матеріал з великими порами має кращі звукоізолюючі властивості, ніж матеріал, взагалі позбавлений пор, що є загальновідомим фактом.

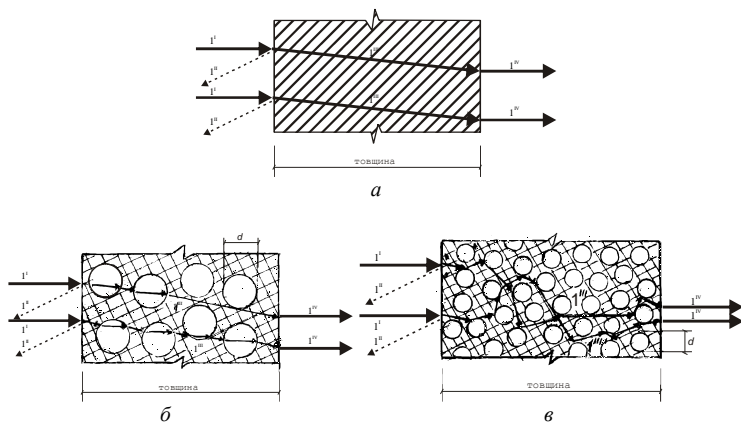


Рис.1 – Проходження звукової хвилі через матеріал:

а – суцільний; *б* – матеріал з великими порами за умови, що $l < d$; *в* – матеріал з дрібними порами за умови, що $l > d$: I^I – промінь, що падає; I^{II} – відбитий промінь; I^{III} – переломлений промінь усередині шару звукопоглинача; I^{IV} – промінь, що вийшов із шару звукопоглинача.

Якщо пори в матеріалі настільки дрібні, що дотримується умова $l > d$ (рис.1, *б*), відповідно до наведеного вище міркуванням, вони поводяться як мікроскопічні вакуумні звукоізолюючі пристрої, тобто звукова енергія власне через них не переноситься. Пори не утворюють суцільну непроникну перешкоду на шляху поширення звуку всередині утримуючого їх шару речовини, і звукові хвилі обгинають їх внаслідок дифракції. Однак при цьому значно збільшується шлях, який проходить звукова хвиля в шарі речовини. Крім того, звукова хвиля відбивається від стінок таких пор, тому що не може в них проникнути. В результаті коефіцієнт α у матеріалів з дрібними порами може виявитися нижчим, ніж у матеріалів з великими порами, але в них яскравіше виражені звукоізолюючі властивості: $\tau \rightarrow \min$, $\rho \rightarrow \max$. α таких матеріалів залежить від пружності каркаса, де знаходяться пори.

Багатошарова звуковбирна панель, що містить мікроскопічні звукоізолюючі пристрої, згідно з дослідженнями попередньої глави та [3] наведена на рис.2. Вона складається з декількох шарів пористого звуковбирного матеріалу з різними характеристиками, позначених позиціями I, II, III, IV. У кожному з таких шарів мають пори, позначені індексом 1: пори в кожному з шарів позначені як I_1 , II_1 , III_1 , IV_1 ; вони (пори) заповнені атмосферним повітрям. Також у кожному такому шарі має пружний каркас із твердої речовини 2, позначений у кожному з шарів як I_2 , II_2 , III_2 , IV_2 .

Хімічний склад каркаса 2 у всіх шарах може бути однаковий (тобто використана та ж сама речовина, але різні шари між собою різні за розмірами пор), тобто діаметри пор $d_I \neq d_{II} \neq d_{III} \neq d_{IV}$. Шари розрізняються між собою пористістю h – відношенням об'єму пор $V_{пор}$, m^3 до загального об'єму $V_{заг}$, m^3 :

$$h = 1 - V_{пор} / V_{заг}. \quad (1)$$

Інша характеристика – масивність μ – відношення об'єму волокнистої речовини до загального об'єму:

$$\mu = 1 - h. \quad (2)$$

Шари розрізняються між собою ще однією характеристикою (взаємозалежною з h і μ): питомим опором продуванню потоком Ξ . При цьому характерний розмір: діаметр пор d_I у лицьовому шарі 1 найбільший і перевищує довжину вільного пробігу молекул: $d_I > l$. Наступний 2-й шар характеризується зменшенням діаметра пор d_{II} у порівнянні з попереднім шаром: $d_{II} < d_I$. У кожному наступному шарі діаметр пор d менше, ніж у попередньому d_{I-1} .

Таке компонування шарів (у кожному наступному шарі діаметр пор менше, ніж у попередньому, до їхнього зменшення до розміру $d \leq 10^{-7}$) передбачає східчасте збільшення питомого опору продуванню потоком Ξ по загальній товщині багатошарової звуковбирної панелі.

Кількість шарів може бути більшою, ніж 4. Збільшення числа шарів тільки підвищує ефективність звуковбирної панелі для боротьби з шумом.

Звукова хвиля, представлена променями 3, входить ззовні з повітряного середовища у лицьовий шар 1, при цьому частина звукової енергії відбивається на границі розподілу середовищ “повітря – шар 1”. Частина, що залишилася, позначена в шарі 1, що примикає до границі розподілу як промінь 3_і, проходить цей шар 1.

При цьому плоский її хвильовий фронт трансформується через наявність пор 1_і. Звукова енергія поширюється як усередині пор 1, так і поза цими порами по пружному каркасі 2, випробуючи поглинання.

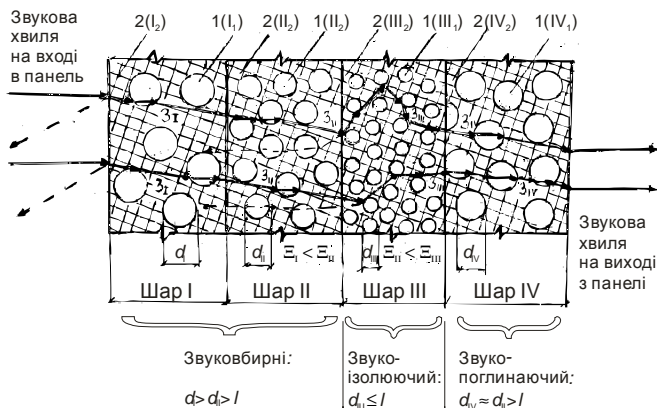


Рис.2 – Звуковбирна панель з мікроскопічними вакуумними звукоізолюючими пристроями:

I, II, III, IV – шари пористого матеріалу; 1 (1_I, 1_{II}, 1_{III}, 1_{IV}) – пори, заповнені атмосферним повітрям у кожному шарі; 2 (2_I, 2_{II}, 2_{III}, 2_{IV}) – пружний каркас у кожному шарі; 3 (3_I, 3_{II}, 3_{III}, 3_{IV}) – напрямок поширення звукової хвилі.

Те ж саме відбувається й у наступному за ним шарі 2. Наявність двох і більше шарів, що розрізняються між собою розмірами пор, дозволяє зменшити коефіцієнт відбиття ρ лицьової поверхні. Для шару 1 на границі розподілу “повітря – шар 1” ρ має основне значення, тому що є характеристикою, за якою в остаточному підсумку визначається ефективність пристрою. Таким чином, у шарі 1 $\tau \rightarrow \min$, однак він досить великий; для наступних шарів за рахунок зменшення діаметра пор d (відповідно і збільшення шляху, що пройшла звукова хвиля усередині зазначених шарів) коефіцієнт пропущення τ звука зменшується і $\tau_{II} < \tau_I$; коефіцієнт відбиття звуку на границях розподілу шарів у кожній парі шарів збільшується: $\rho_{II} > \rho_I$. Унаслідок α поступово наростає по товщині панелі. У традиційних конструкціях звук, пройшовши ці шари з крупними порами, виходить назовні (наскрізь) зі зворотної сторони звукопоглиначу. Відмінністю пропонованої конструкції є наявність “звукоізолюючих шарів”. Завдяки наявності мікропор, де підтримується умова $l > d$, коефіцієнт пропущення τ_{III} такого шару значно менше коефіцієнтів пропущення попередніх шарів, що веде до того, що значна частина звукової енергії, позначена на рис.2 як промінь 3_{III}, відбивається від нього назад у шари 2 і 1, що повторно задіюється для поглинання звуку. За зазначеними вище причинами частина звукової енергії все-таки проходить шар 3, тому за ним передбачений знову звуковбирний шар 4, служить для забезпечення

додаткового поглинання енергії (промінь 3_{IV}) на виході із зворотної сторони звуковбирної панелі.

Багатошарові звуковбирні панелі добре відомі. Однак у докладних описах механізму їхньої дії, приведеним, наприклад, у [1], дослівно зазначено: “все они обладают сквозной пористостью с размерами менее 1 мм. Внутри пор может распространяться звук, затухающий из-за потерь”, (за нашими даними, це вірно лише коли дотримується умова $d > 10^{-7}$ м, як це впливає з вищевикладеного), а також “все структурные величины (диаметр пор, диаметр волокна) очень малы по сравнению с длиной волны, что позволяет рассматривать эти материалы как однородную среду с внутренними потерями”, через що підбір сполучення структурних характеристик кожного шару ведеться, по суті, без обліку їхньої мікроструктури (що, природно, не завжди позитивно позначається на їхніх властивостях у плані звукопоглинання). Хоча в роботі [1] емпірично виявлено, що “переход от свободного поля к акустически жесткой стене должен происходить за счет ступенчатого увеличения удельного сопротивления продуванию при переходе от слоя к слою”. Ця цитата разом з іншими даними [1] свідчить про правомірність теоретичних міркувань нашої роботи. Дані [1] виходять з експериментальних спостережень і на цьому емпіричному рівні вважається [1], що “попытки лучше учесть микроструктуру материала... не оканчивались ничем”. У той же час у роботі [5] ця проблема – це проблема обліку мікроструктури матеріалу.

Має місце відсутність залежності між звукоізолюючою здатністю і зовнішнім акустичним впливом, та залежність між звукоізолюючою здатністю і метеорологічними елементами (параметрами мікроклімату) навколишнього середовища. Поглинання звуку пористими матеріалами було пояснено нами як наслідок звукоізолюючих властивостей їхніх пір, що представляють собою вакуумні порожнини.

Теоретичні передумови [3, 10] послужили основою створення багатошарових звуковбирних панелей [4, 11], які забезпечують зниження рівня звуку на 8-10 дБА. Вони можуть бути застосовані самостійно у вигляді конструкцій, що огорожують, у приміщеннях, де є потужні джерела шуму, такі як виробниче устаткування і т.п., а також у якості додаткового звуковбирного покриття на традиційних звукоізолюючих панелях.

1. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л.Осипова и Е.Я.Юдина. – М.: Стройиздат, 1987. – 558 с.

2. Абракитов В.Э. Микроструктура пористых материалов и их звукопоглощающая способность // Тезисы докладов XXVII науч.-техн. конф. ХИИГХ. – Харьков: ХИИГХ, 1994. – С.59-60.

3.Абракизов В.Э., Данова К.В. Влияние микроструктуры пористых материалов на их звукопоглощающие свойства // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 42. – К.: Техніка, 2002. – С.190-194.

4.Абракизов В.Э., Русова В.А. Многослойная звукопоглощающая панель // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.58. – К.: Техніка, 2004. – С.239-243.

5.Абракизов В.Е. На шляху до наукових відкриттів. – Харків: Парус, 2007. – 424 с.

6.Политехнический словарь / Под ред. И.И.Артаболевского. – М.: Сов. энциклопедия, 1977. – 608 с.

7.Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1985. – 520 с.

8.Компанеев А.С. Законы статистической физики. Ударные волны. Сверхплотное вещество. – М.: Наука, 1976. – 286 с.

9.Снижение шума на промышленных предприятиях / Ленинград. гос. проектный ин-т. – М.: Стройиздат, 1971. – 168 с.

10.Абракизов В.Э., Данова К.В. Влияние микроструктуры пористых материалов на их звукопоглощающие свойства // Коммунальное хозяйство городов (42). pp. 190-194. [Электронный ресурс]: <http://eprints.ksame.kharkov.ua/3741/>. Заголовок з екрану.

11.Абракизов В.Э., Русова В.А. Многослойная шумопоглощающая панель // Цифровий репозиторій Харків. нац. академії міського господарства (ХНАМГ). [Електронний ресурс]: <http://eprints.ksame.kharkov.ua/2358/>. Заголовок з екрану.

Отримано 04.02.2010

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 69.056.55

И.И.РОМАНЕНКО, д-р техн. наук, Е.И.САЛИМОВСКАЯ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ПЯТИЭТАЖНЫХ ДОМОВ

Проведен сравнительный анализ АКТ-вариантов реконструкции «пятиэтажек» на примере домов типовой серии 1-468 по удельной стоимости, окупаемости реконструкции с учетом энергосбережения и увеличения долговечности домов за счет реконструкции.

Проведено техніко-економічний аналіз АКТ-варіантів реконструкції «п'ятиповерхівок» на прикладі будинків типової серії 1-468 за питомою вартістю, окупності реконструкції з врахуванням енергозбереження та збільшення довговічності будинків за рахунок реконструкції.

The comparative technical and economical analysis of the alternate architectural and construction technologies for the reconstruction of typical five-level houses of the 1-468 series in terms of the cost and payback and considering the power savings and durability extension of the former is carried out.

Ключевые слова: «пятиэтажки», реконструкция, технико-экономический анализ.